

**Tomi Haapakoski**

**PIHATTONAVETAN ILMANVAIHDON OHJAUS**

**Opinnäytetyö**

**KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

**Toukokuu 2012**



## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Yksikkö</b> Ylivieska	<b>Aika</b> Toukokuu 2012	<b>Tekijä/tekijät</b> Tomi Haapakoski
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> Pihattonavetan ilmanvaihdon ohjaus		
<b>Työn ohjaajat</b> Jari Halme, Kyösti Terentjeff		<b>Sivumäärä</b> 29+2
<b>Työelämäohjaaja</b> Lauri Penninkangas		
<p>Työ tehtiin Demeca Oy:lle, joka on korkean automaatiotason maataloustuotteita valmistava yritys. Yrityksen tarkoituksena on tuottaa kustannustehokkaita laitteita ja järjestelmiä helpottamaan maataloustuottajan arkipäivää ja miksei pyhääkin.</p> <p>Tämä opinnäytetyö tehtiin osana pihattonavetan ilmanvaihtoon tarkoitetun laitteiston suunnittelu ja kehitystyötä. Työn olennaisena kohteena oli ilmanvaihdon ohjauksen muuttaminen oikosulkumoottorikäyttöiseksi. Tällä muutoksella varmistettiin riittävä teho luukkujen säätöön.</p> <p>Opinnäytetyössä on tarkasteltu erilaisia ilmanvaihdon ratkaisuja ja niiden vaatimuksia automatisoinnin kannalta. Ohjausjärjestelmän komponenttivalintojen tueksi työssä perehdyttiin soveltuviin antureihin ja toimilaitteisiin. Työssä pyrittiin löytämään ratkaisuja joilla kustannustaso pysyisi alhaisena, mutta toimintavarmuus korkeana.</p> <p>Ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksesta tehtiin testilaitte, jonka avulla toimivuutta pystyttiin tutkimaan. Saadut tulokset kirjattiin ylös ja niiden perusteella annettiin kehittämisohjeita.</p>		
<b>Asiasanat</b> ilmanvaihto, Modbus, pihattonavetta		

**ABSTRACT**

<b>CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</b>	<b>Date</b> May 2012	<b>Author</b> Tomi Haapakoski
<b>Degree programme</b> Electrical Engineering		
<b>Name of thesis</b> Control of ventilation in cowshed		
<b>Instructors</b> Jari Halme, Kyösti Terentjeff		<b>Pages</b> 29+2
<b>Supervisor</b> Lauri Penninkangas		
<p>This study was made for Demeca Ltd which is a company producing high level automation products for agriculture use. The aim of their products is to make the agricultural producer's life easier.</p> <p>The study was made as a part of the redesign project of the cowshed ventilation system. Main target was changing the drive types to asynchronous induction motors to have adequate power for further use.</p> <p>This study has examined a variety of ventilation solutions and their requirements in terms of automation. To have enough knowledge for component selections there were also need to learn about suitable sensors and actuators. Aim was to find cost efficient but reliable solutions.</p> <p>Prototype of the control system were built up and it was used in investigation of the system functionality. The results obtained were recorded and are the basis of development proposals</p>		
<b>Key words</b> cowshed, Modbus, ventilation		

**TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 ILMANVAIHTO</b>	<b>2</b>
2.1 Ilmanvaihdon merkitys	2
2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät	2
2.2.1 Alipainejärjestelmä	3
2.2.2 Tasapainejärjestelmä	3
2.2.3 Ylipainejärjestelmä	4
2.2.4 Luonnollinen ilmanvaihto	4
2.2.5 Verhoseinä	4
2.3 Kriittinen lämpötila	5
<b>3 TUOTEPAKETTIEN MÄÄRITTELY</b>	<b>7</b>
3.1 Käsikäyttöinen ohjaus	7
3.2 Automaattinen luukkukohtainen ohjaus	8
3.3 Automaattinen keskitetty ohjaus	9
<b>4 ANTURIT JA TOIMILAITTEET</b>	<b>10</b>
4.1 Lämpötilan mittaaminen	10
4.1.1 Vastuslämpöanturi	10
4.2 Lähestymiskytkimet	11
4.2.1 Induktiivinen lähestymiskytkin	11
4.2.2 Kapasitiivinen lähestymiskytkin	12
4.2.3 Optinen lähestymiskytkin	12
4.3 Mekaaninen rajakytkin	12
4.4 Taajuusmuuttaja	12
<b>5 MODBUS-VÄYLÄ</b>	<b>14</b>
5.1 Yleistä	14
5.2 Kommunikointi	14
5.3 Sanomat ja rakenne	15
5.4 Fyysinen liitäntä	16
5.5 RS-485 standardi	17
<b>6 TYÖN TAVOITTEET</b>	<b>18</b>
<b>7 OHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS</b>	<b>19</b>
7.1 Anturivalinnat	19
7.2 Ohjauslaitevalinnat	19
7.3 Luukkukohtainen ohjaus	20
7.4 Keskitetty ohjaus	20
7.5 Ohjelma	21
7.6 Mekaaninen toteutus	23

<b>8 TESTAUS JA JATKKEHITYS</b>	<b>24</b>
8.1 Testilaite	24
8.2 Testausmenetelmät	25
8.3 Testaustulokset	25
8.4 Jatkokehitys	26
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>27</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>28</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>KUVIOT</b>	
KUVIO 1. Alipaineilmanvaihto yläpuolisella poistolla	3
KUVIO 2. Ilmanvaihdon seinäluukut	7
KUVIO 3. Ilmanvaihtoluukun käyttömoottori	8
KUVIO 4. Demeca Control -ohjausjärjestelmä	9
KUVIO 5. Taajuudenmuuttajan periaate	13
KUVIO 6. Modbus-väylän periaate	14
KUVIO 7. Modbus-kommunikointi	15
KUVIO 8. Modbus-RTU sanomakehys	16
KUVIO 9. Ilmanvaihdon luukkukäytön vaihdemoottori	20
KUVIO 10. Parametrien syöttämistä taajuusmuuttajalle	22
KUVIO 11. Ilmanvaihdon ohjausjärjestelmän testilaite	24
<b>TAULUKOT</b>	
TAULUKKO 1. Eläinlajeille tyypillisiä lämpötiloja	6

## 1 JOHDANTO

Nykyaikaisessa maataloudessa navetan ilmanvaihdolla on suuri merkitys. Ilmanvaihdon toiminnassa hyvin sitä ei käytännössä edes huomaa, mutta jos sen toiminnassa on ongelmia, alkavat pahimmillaan jo suunnitteluvaiheessa tehdyt virheet paljastua. Ilmanvaihdon tulisi toimia siten, että eläimillä olisi hyvät olosuhteet ja karjanhoitajien ei tarvitsisi käyttää aikaansa sen toiminnan seuraamiseen. Talvella on tärkeää saada poistettua haitalliset kaasut, mutta säilyttää lämpötila kuitenkin lehmille ja hoitajille sopivalla tasolla. Vesihöyryn muodostuminen voi olla myös ongelmallista rakenteiden kannalta, jos sitä ei saada poistettua rakennuksesta. Kesällä tärkeimmäksi kriteeriksi muodostuu ylimääräisen lämmön poistaminen navettarakennuksesta.

Työn tavoitteena on Demeca Oy:n painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän ohjauksen muuttaminen oikosulkumoottorikäyttöiseksi. Ilmanvaihdon ohjauksen reunaehtojen ja protolaitteen testauksesta saatujen tietojen perusteella pyritään löytämään ilmanvaihdon toimivuutta rajoittavat ongelmat ja löytämään niihin vaihtoehtoisia ratkaisuja. Toimivalla ilmanvaihdon ohjauksella on tarkoitus varmistaa eläinten, karjanhoitajien ja rakenteiden hyvinvointi.

Ilmanvaihdon mekaaniselle toteutukselle on olemassa valmiit suunnitelmat, joissa on esitetty toiminta ja ohjauksen vaatimukset pääpiirteissään. Tässä päättötyössä perehdytään ilmanvaihdon ohjauksen vaatimiin komponentteihin, toimintaympäristöön sen aiheuttamiin vaatimuksiin. Toimintaympäristö aiheuttaa vaatimuksia mekaniikalle, toimilaitteille, antureilla ja ohjaukselle. Näiden kaikkien vaatimusten yhteensovittaminen on yksi työn haasteista.

## **2 ILMANVAIHTO**

Viime vuosina Suomen maatalouden tilakoot ovat kasvaneet ja suurten tuotantoyksiköiden osuus on lisääntynyt todella paljon. Tästä johtuen uudet kotieläinrakennukset ovat huomattavasti suurempia kuin ennen. Tilakokojen ja eläinmäärien kasvamisesta johtuen ilmanvaihtoon ja rakenteisiin kohdistuvat kuormitukset kuten lämpö, kosteus ja epäpuhtaudet ovat lisääntyneet. Tuotantorakennuksen ilmanvaihdolta vaaditaan paljon, jotta eläinten hyvinvoinnin ja tuotoksen kannalta optimaaliset olosuhteet voidaan varmistaa. Ilmanvaihtojärjestelmien kehitykseen vaikuttavat energian hinta, sekä tuotantorakennuksen haasteelliset olosuhteet. Ilmanlaadun ohjetasojen saavuttaminen edellyttää vaativaa lämmitys- ja ilmanvaihtolaiteiden, sekä rakenteiden suunnittelua. (Heimonen, Heikkinen, Kovanen, Laamanen, Ojanen, Piippo, Kivinen, Jauhiainen, Lehtinen, Alasuutari, Louhelainen & Mäittälä 2009, 8.)

### **2.1 Ilmanvaihdon merkitys**

Ilmanvaihdon kolmena päätarkoituksena voidaan pitää navetan lämpöolosuhteista huolehtimista, erityisesti talvella muodostuvan vesihöyryn poistamista, sekä haitallisten kaasujen pitämistä alarajoissa. Näitä kaasuja ovat ammoniakki, metaani, hiilidioksidi ja rikkivety. Ilmanvaihdon mitoittaminen pitäisi perustua edellä mainittuihin seikkoihin. Ilmanvaihdon oikealla toiminnalla vältetään rakenteiden ja laitteiden kostumiselta, mikä rajoittaa homeiden kasvuedellytyksiä, sekä estää laho- ja korroosiovaurioita. (Mäittälä 2003, 13.)

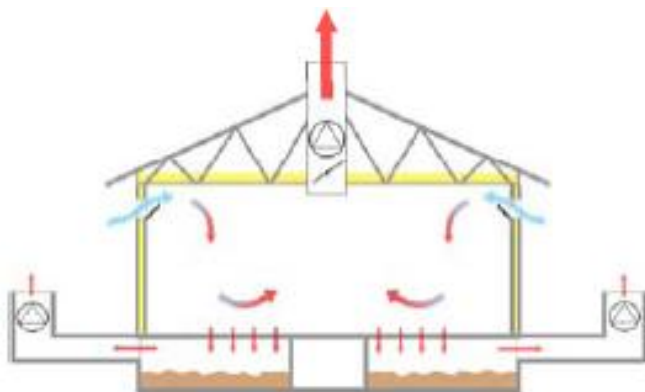
### **2.2 Ilmanvaihtojärjestelmät**

Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan jakaa koneelliseen ja luonnolliseen ilmanvaihtoon. Koneellinen ilmanvaihto voidaan jakaa tasapaine-, alipaine- ja ylipainejärjestelmiin. Koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään kuuluvat tuloilmaluukut, poistoilmaluukut, sekä puhaltimet. Luonnollisessa ilmanvaihdossa ei käytetä puhaltimia. (Kuiiri 2010, 13.)

### 2.2.1 Alipainejärjestelmä

Alipaineilmanvaihto yläpuolisella poistolla (KUVIO 1) on yleisin tuotantorakennusten ilmanvaihtoratkaisu. Alipainejärjestelmässä ilmanpoisto toteutetaan koneellisesti. Ongelmia ovat aiheuttaneet korvausilman otto ja puhaltimien melu. Ilmanvaihdon toimintaa häiritsevät esimerkiksi avoimet ovet, luukut ja raot. Korvausilma tulee jakaa tasaisesti rakennukseen. Puhaltimien aiheuttamaa melua voidaan vaimentaa sijoittamalla puhaltimet ylemmäs kanavaan tai melunvaimentimella. Puhaltimien helppoon huoltoon ja puhdistukseen on kiinnitettävä huomiota. (Maatalousyrittäjien eläkelaitos 2010.)

Poistoilma voidaan poistaa myös alapuolelta, esimerkiksi lietekanavista. Alapuolinen poisto on hyvä ratkaisu ilman kaasu- ja pölypitoisuuksien kannalta. Kun rakennuksessa on alapuolinen poisto, lantakaasut poistuvat tehokkaasti. (Maatalousyrittäjien eläkelaitos 2010.)



KUVIO 1. Alipaineilmanvaihto yläpuolisella poistolla. (Heimonen ym. 2009, 54.)

### 2.2.2 Tasapainejärjestelmä

Tasapaineilmanvaihdossa korvausilma tuodaan koneellisesti. Ongelmia tässä ratkaisussa voi olla lämpimänä aikana suuret ilman liikenopeudet ja pölyn lisääntyminen. Kylmänä aikana ilman liikenopeudet voivat laskea liian matalaksi, jolloin ilmanvaihto rakennuksen reunoilla saattaa heikentyä. (Maatalousyrittäjien eläkelaitos 2010.)



### **2.2.3 Ylipainejärjestelmä**

Ylipaineilmanvaihdossa rakennukseen tuotetaan koneellisesti ylipaine ja huono ilma poistuu tämän aiheuttamana poistoaukoista. Puhaltimet voidaan sijoittaa seinälle tai kattoon. Suurin ongelma on kosteuden pääseminen rakenteisiin. (Kuiri 2010, 14.)

### **2.2.4 Luonnollinen ilmanvaihto**

Luonnollinen ilmanvaihto perustuu sisä- ja ulkoilman lämpötilan eroon. Lämmin sisäilma on kevyempää kuin kylmä ulkoilma, joten se nousee ylös ja poistuu poistoilma-aukoista. Ulkoilma on raskaampaa ja painuu sisälle tullessaan alas kunnes se lämpenee tarpeeksi ja poistuu yläkautta. Luonnollinen ilmanvaihto on meluton ratkaisu, koska puhaltimia ei käytetä. (Kuiri 2010, 15.)

### **2.2.5 Verhoseinä**

Verhoseinäisessä navetassa ilmanvaihto tapahtuu painovoimaisesti yleensä pitkällä seinillä olevilla verhoilla ja harjalla olevilla luukuilla. Luukkujen ja verhojen avautumista säädetään käsin tai automatiikalla yleensä lämpötila-anturin ohjauksessa. (Kivinen 2006, 56–59.)

Verhojen materiaali on yleensä hieman joustavaa, usein lasikuituvahvisteista muovia, joka päästää valoa lävitseen. Verhoseinä on käyttökelpoinen lämpöeristetyssä ja myös eristämättömässä rakennuksessa. Lämpöeristetyssä rakennuksessa yleisesti katto ja päätyseinät ovat eristetyt lähes asuinrakennuksen tasolle. (Kivinen 2006, 56–59.)

Verhoja eli rakennuksen ilmanvaihtoa säädetään pihaton sisäolosuhteiden mukaan. Sääto tapahtuu manuaalisesti verhoja laskemalla tai nostamalla, jolloin ilman virtausaukon pinta-ala suurenee tai pienenee. Sääto voi tapahtua myös automatiikalla, jolloin sääto perustuu lämpötila-anturin antamaan lämpötilaan. (Kivinen 2006, 56–59.)

Pihattonavetan harjalla sijaitsevat säädettävät poistoilma-aukot. Niiden toteuttamiseen on useita erilaisia ratkaisuja. Kanadalainen ratkaisu perustuu polyuretaanieristettyihin hormoneihin, jotka sijaitsevat harjalinjalla tasaisin välein. Vaihtoehtoisesti harjalle voidaan asentaa kasvi-huoneista tutut harjaläpät, joita avataan sähkömoottoreilla tai käsikäyttöisesti. Talvella sisälämpötila pyritään pitämään lämpimän puolella. Tällöin lämpötilaero ulkoilmaan kasvaa ja saavutettava paine-ero on myös suurempi. Ilman virtaamiselle harjaa kohti ei saa olla esteitä. Painovoima vetää kylmää korvausilmaa alaspäin, jolloin lämmin ja keveämpi sisäilma nousee ylös kohti harja-aukkoja. (Kivinen, Mattila, Teye, Heikkinen, Heimonen 2006, 8-9)

Talviolosuhteissa katon lämpöeristys estää vesihöyryn tiivistymisen katon sisäpintaan. Suurin ero verhoseinä- ja perinteisen pihaton välillä on sisälämpötilassa. Suomessa lämpimissä pihatoissa sisälämpötila on pyritty pitämään noin +10 asteessa. Verhoseinäpihatoissa lämpötilatavoite on +5°C ja samalla on varauduttava lämpötilojen hetkellisiin nollarajan alituksiin. (Kivinen, Mattila, Teye, Heikkinen, Heimonen 2006, 9)

### **2.3 Kriittinen lämpötila**

Eläinten tuotantokyvyn kannalta lämpöeristetyn eläinsuojan lämpötila ei saisi vaihdella yli viittä astetta vuorokauden aikana. Eristämättömissä eläinsuojissa lämpötilavaihtelun merkitys on pienempi, vaan tärkeämpää on rakennuksen suoja tuulta ja vetoa vastaan. Liian kylmässä tavallista suurempi osa eläinten rehun energiasta kuluu ruumiinlämmön ylläpitämiseen. Tämä luonnollisesti laskee rehuyksikköä kohti saatavaa tuotantoa. Lämpötilaa, jonka alapuolella näin tapahtuu, sanotaan alemmaksi kriittiseksi lämpötilaksi. Liian korkea lämpötila alentaa eläinten ruokahalua ja täten myös tuotosta. Tällöin puhutaan ylemmästä kriittisestä lämpötilasta. (MMM RMO C2.2.)

TAULUKKO 1. Eläinlajeille tyypillisiä lämpötiloja. (MMM-RMO C2.2.)

Eläinlaji	kriittiset lämpötilat °C		
	alempi	ylempi	Optimi
Lehmä	(-25...)-15	23...27	5...15
Nuorkarja	(-15...) 0	25...30	10...20
Pikku vasikka	( 0...) 10	30	15...25
Lihakarja, > 3kk	(-35...)-15	25...30	-10...15
Porsiva emakko	( 5...) 20	27...32	10...28
Vastasyntynyt porsas, ≤ 2 viikkoa	25	34	30...32
Lihasika	( 7...) 15	25...27	15...22

### 3. TUOTEPAKETTIEN MÄÄRITTELY

#### 3.1 Käsikäyttöinen ohjaus

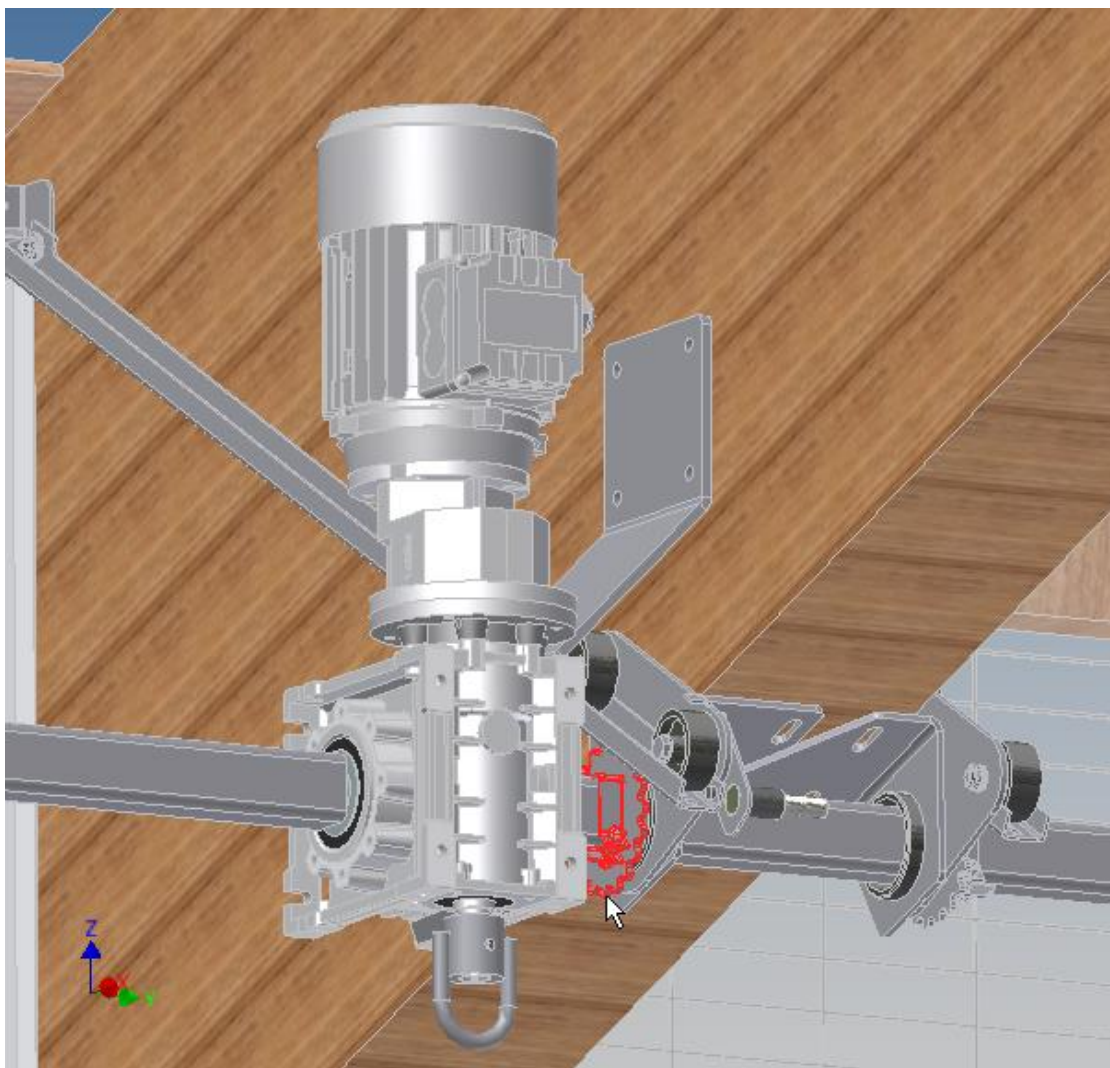
Yksi vaihtoehto ilmanvaihdon ohjaukseen on täysin käsikäyttöinen järjestelmä. Seinäluukkuja (KUVIO 2) säädetään pyörittämällä veivillä käyttöakselin kierukkavaihdetta. Pelkästään käsikäyttöinen vaihtoehto ei ole suositeltava ratkaisu uusissa pihattonavetoissa, joissa automaatio on muutenkin korkealla tasolla. Ainoastaan joissakin saneerauskohteissa ja erikoistapauksissa tämä voisi olla järkevää. Käsikäyttöinen järjestelmä on kuitenkin rakennettu samoista komponenteista kuin automaattinen, joten siihen on helppo lisätä automaatiovarustus myös myöhemmin.



KUVIO 2. Ilmanvaihdon seinäluukut.

### 3.2 Automaattinen luukkukohtainen ohjaus

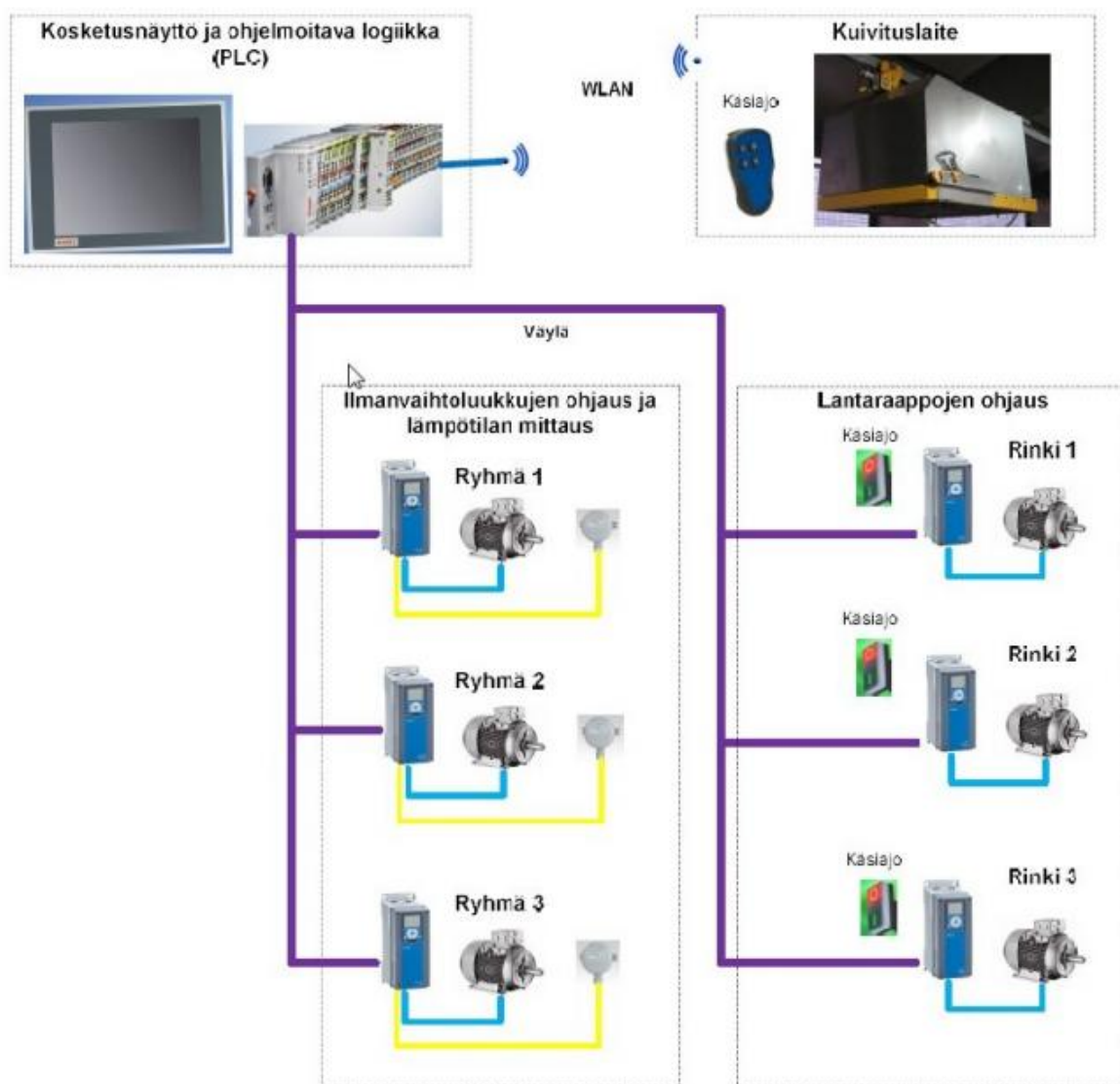
Tässä vaihtoehdossa jokaiselle ohjattavalle tuloilmaluukkuryhmälle on oma käyttömoottori (KUVIO 3) ja ohjainlaite. Navetan rakenteista riippuen luukut toteutetaan yleensä 2-5 osassa ja jokainen osa säätyy oman ohjausjärjestelmän ohjaamana. Ilmanvaihdon säädöt on tehtävä jokaiselle ohjainlaitteelle erikseen. Käsikäyttömahdollisuus säilytetään myös automatisoidussa järjestelmässä. Tämän tarkoituksena on turvata ilmanvaihdon toiminta sähkökatkon aikana ja ohjausjärjestelmän vioittuessa.



KUVIO 3. Ilmanvaihtoluukun käyttömoottori (Demeca Oy)

### 3.3 Automaattinen keskitetty ohjaus

Luukkukohtainen ilmanvaihdon ohjaus on yhdistetty väyläteknikalla keskitettyyn ohjaukseen. Demeca Control (KUVIO 4) on automatisoitujen laitteiden keskitetty ohjausjärjestelmä. Demeca Control koostuu pihaton toimistossa sijaitsevasta graafisesta käyttöliittymäpaneelista ja eläintiloissa sijaitsevista ohjauskeskuksista. Ilmanvaihdon säädöt voidaan tehdä keskitetyn ohjausjärjestelmän avulla.



KUVIO 4. Demeca Control –ohjausjärjestelmä (Demeca Oy)

## 4 ANTURIT JA TOIMILAITTEET

Ilmanvaihdon ohjaus tarvitsee toimiakseen muutamia antureita ja toimilaitteita. Anturoinnin toteuttamiseen on yleensä olemassa useita vaihtoehtoja, joilla kullakin on omat hyvät ja huonot puolensa. Toimilaitteiden osalta on myös samanlainen asetelma. Tässä kappaleessa pyritään esittelemään laitteeseen soveltuvia vaihtoehtoja pohjaksi anturi ja toimilaittevalinnoille. Ilmanvaihtoluukkujen ohjauksessa tarvitaan antureita lämpötilan mittaukseen, luukun asentotiedon tunnistamiseen ja mahdollisesti tuulen suunnan mittaukseen. Toimilaitteet koostuvat lähinnä moottori- ja taajuusmuuttajapaketesta, joka säättää luukkuja anturien mittaustiedon perusteella.

### 4.1 Lämpötilan mittaaminen

Aineen tai kappaleen lämpötilan mittaaminen perustuu joko kosketukseen tai koskemattomuuteen. Kosketusmittauksessa on edellytyksenä, että lämpömittari on upotettu mitattavaan väliaineeseen riittävästi. Pintalämpömittareita ei yleensä upoteta taskuihin, joten pintalämpömittarin kosketus mitattavaan pintaan on epävarma. Tämä lisää mittaustuloksen epävarmuutta. Infrapunalämpömittarin tarkkuuteen vaikuttavat mitattavan pinnan lämpötilan tasaisuus, pintamateriaalin emissiivisyys ja infrapunalämpömittarin optiikka. Lämpötilan mittaaminen on yleensä hidasta. Ennen mittauksen aloittamista täytyy odottaa, että mittarin anturin lämpötila tasaantuu mitattavan kohteen kanssa. Mittaus suoritetaan lukemalla mittaria useampia kertoja. Jokainen mittaustuloksesta otetaan ylös ja mittaustulos on mitattujen arvojen keskiarvo. (Weckström 2002, 9.)

#### 4.1.1 Vastuslämpöanturit

Vastuslämpöanturi on lämpötilan mittaukseen tarkoitettu anturi, jonka sähköinen vastusarvo muuttuu lämpötilan muuttuessa. Platinasta valmistetut PT100- ja PT1000-anturit ovat hyvin

yleisiä vastuslämpötila-antureita. PT100- ja PT1000-antureita on eri tarkkuusluokkia, mutta tyypillinen tarkkuus on  $-50...+100\text{ °C}$ :n lämpötiloissa  $0,5\text{ °C}$  luokkaa. PT100- ja PT1000-antureiden mitta-alue on noin  $-200...+600\text{ °C}$ . (Produal 2012.)

## **4.2 Lähestymiskytkimet**

Lähestymiskytkin tunnistaa kohteen läheisyyden ilman fyysistä kosketusta. Kohteen havaitsemiseen käytetään magneettikenttää, sähkökenttää tai sähkömagneettista säteilyä. Lähestymiskytkin mittaa muodostamaansa kenttää tai lähettämänsä säteilyn heijastusta, ja ilmaisee kohteen läheisyyden mittaustuloksen muutoksena. Erilaisia tunnistettavia kohteita varten käytetään erilaisia antureita. Esimerkiksi kapasitiivinen anturi sopii nesteiden havaitsemiseen, kun taas induktiivinen anturi sopii metallisten kohteiden paikannukseen. Lähestymiskytkimissä ei ole liikkuvia osia ja ne eivät ole suorassa kosketuksessa ilmaistaviin kohteisiin, joten ne ovat luotettavia ja pitkäikäisiä. (Saarijärvi 2010, Liite 1.)

### **4.2.1 Induktiivinen lähestymiskytkin**

Induktiivisen lähestymiskytkimen tunnistuspinnalla on vaihtuva magneettikenttä, joka saadaan aikaan oskillaattorilla. Tämä värähtelypiiri kuluttaa tietyn suuruisen lepovirran. Kun tähän sähkömagneettiseen kenttään tuodaan sähköä johtavaa materiaalia oleva esine, aiheuttaa induktio esineeseen pyörrevirtauksia, jotka ottavat energiaa värähtelypiiristä. Tämän seurauksena sähkömagneettinen kentän värähtely vaimenee ja värähtelypiirin virrankulutus kasvaa. Kytkimen elektroniikka havaitsee muutoksen virrankulutuksessa ja lähdön tila muuttuu. (Saarijärvi 2010, Liite 1.)



#### **4.2.2 Kapasitiivinen lähestymiskytkin**

Kapasitiivisen lähestymiskytkimen toiminnan perusta on muuttuva sähkökenttä. Kun tunnistettava kohde-esine tuodaan kytkimen tunnistavan alueen sisään, sähkökenttä heikkenee ja oskillaattoriin kapasitanssi kasvaa. Kun tietty kapasitanssiarvo ylittyy, alkaa oskillaattori värähdellä. Oskillaattorin kapasitanssin muutokseen vaikuttavat tunnistettavan materiaalin dielektrisyysvakio, tunnistettavan esineen etäisyys kytkimen aktiivisesta pinnasta ja esineen fyysiset mitat. (Saarijärvi 2010, Liite 1.)

#### **4.2.3 Optinen lähestymiskytkin**

Optisia lähestymiskytkimiä käytetään esimerkiksi tuotantolinjojen toiminnan valvontaan, turvajärjestelmiin ja ohikulkevien kappaleiden laskentaan. Kohteen tunnistuksen aiheuttaa valonsäteen katkeaminen tai intensiteetin heikkeneminen. Tämä muuttaa lähestymiskytkimen kytkentätilaa. Optisilla lähestymiskytkimillä pystytään rekisteröimään vain sellaisia kohteita, joiden pinnat heijastavat tarpeeksi valoa. Niinpä kytkentäetäisyys riippuu voimakkaasti kohteen pinnan laadusta. (Waaramaa & Salonen 2006, 13.)

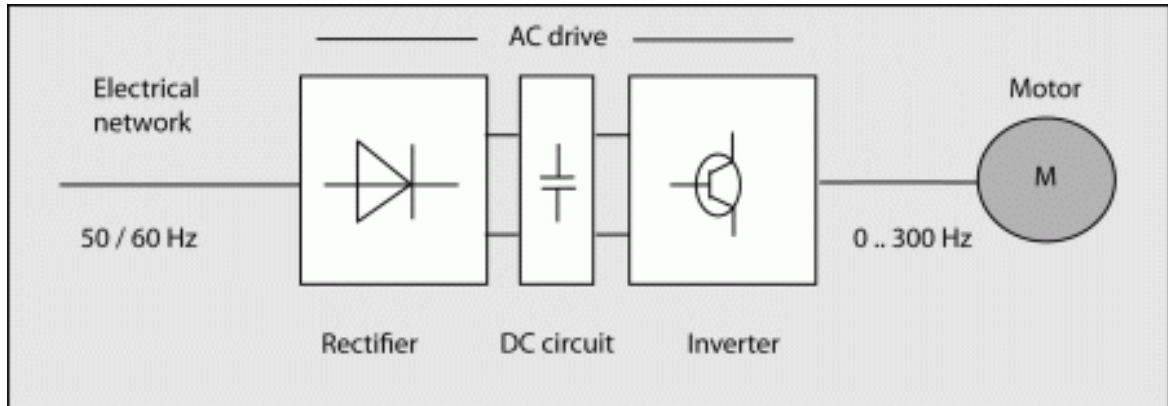
#### **4.3 Mekaaninen rajakytkin**

Rajakytkimillä liikkuvien koneenosien mekaaninen sijainti voidaan muuttaa sähköisiksi signaaleiksi. Rajakytkimen kytkentä tapahtuu mekaanisilla koskettimilla. Ohjaustoiminnassa ohjaimet välittävät mekaanisen liikkeen rajakytkimen koskettimille. (Koivuviita 1997.)

#### **4.4 Taajuusmuuttajat**

Taajuusmuuttaja elektroninen laite, jolla voidaan muuttaa portaattomasti kolmivaiheisen vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeutta. Taajuudenmuuttaja muuttaa sähköverkon kiinteää taa-

juutta ja jännitettä muuttuviin arvoihin. Lähes kaikki nykyiset taajuudenmuuttajat ovat mikroprosessoriohjattuja. Taajuudenmuuttajassa on neljä pääosaa (KUVIO 5). (Danfoss 2000, 7-9.)



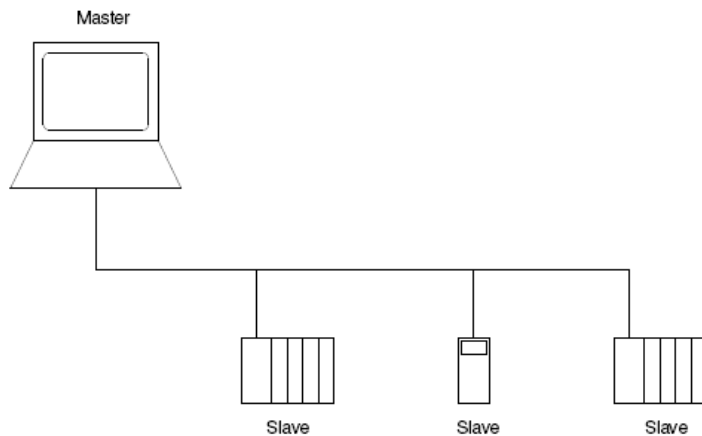
KUVIO 5. Taajuudenmuuttajan periaate. (Vacon 2012.)

Tasasuuntaaja suuntaa verkkojännitteen sykkiväksi tasajännitteeksi. Tasasuuntaajia on olemassa yksi ja kaksisuuntaisia. Kaksisuuntainen tasasuuntaaja kykenee syöttämään moottorin tuottamaa energiaa, esim. jarrutusenergiaa, myös verkkoon päin. Välipiiriä on olemassa kolmea tyyppiä. Yksi, joka muuntaa tasasuuntaajan jännitteen tasavirraksi. Toinen, joka stabiloi sykkivän tasajännitteen ja lähettää sen vaihtosuuntaajaan. Kolmas, joka muuttaa tasajännitteen muuttuvaksi vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaaja määrää moottorijännitteen taajuuden. Ohjauspiiri kommunikoi tasasuuntaajan, välipiirin ja vaihtosuuntaajan kanssa. Säädetävät ominaisuudet riippuvat taajuusmuuttajasta. (Danfoss 2000, 52-53; Vacon 2012.)

## 5 MODBUS-VÄYLÄ

### 5.1 Yleistä

Modbus on vuonna 1979 julkaistu sarjakommunikointiprotokolla. Sitä käytetään yleisesti teollisuudessa ohjelmoitavien logiikoiden, näyttöjen ja taajuusmuuttajien välisissä kytkennöissä. Modbus-väylän etuja ovat yksinkertaisuus, avoimuus ja lisenssi vapaus. Modbus RTU -väylän haittapuolena on hidas kommunikointinopeus. Modbus-väylät toimivat joko sarjaportin (Modbus RTU) tai ethernet-liitynnän kautta (Modbus TCP/IP). Väylässä toimii yksi isäntälaitte (Master) ja yksi tai useampi orja (Slave). (KUVIO 6). Enintään 247 slave-laitetta voidaan kytkeä samaan väylään. (Mäkilä 2010, 18; Modbus\_over 2006)

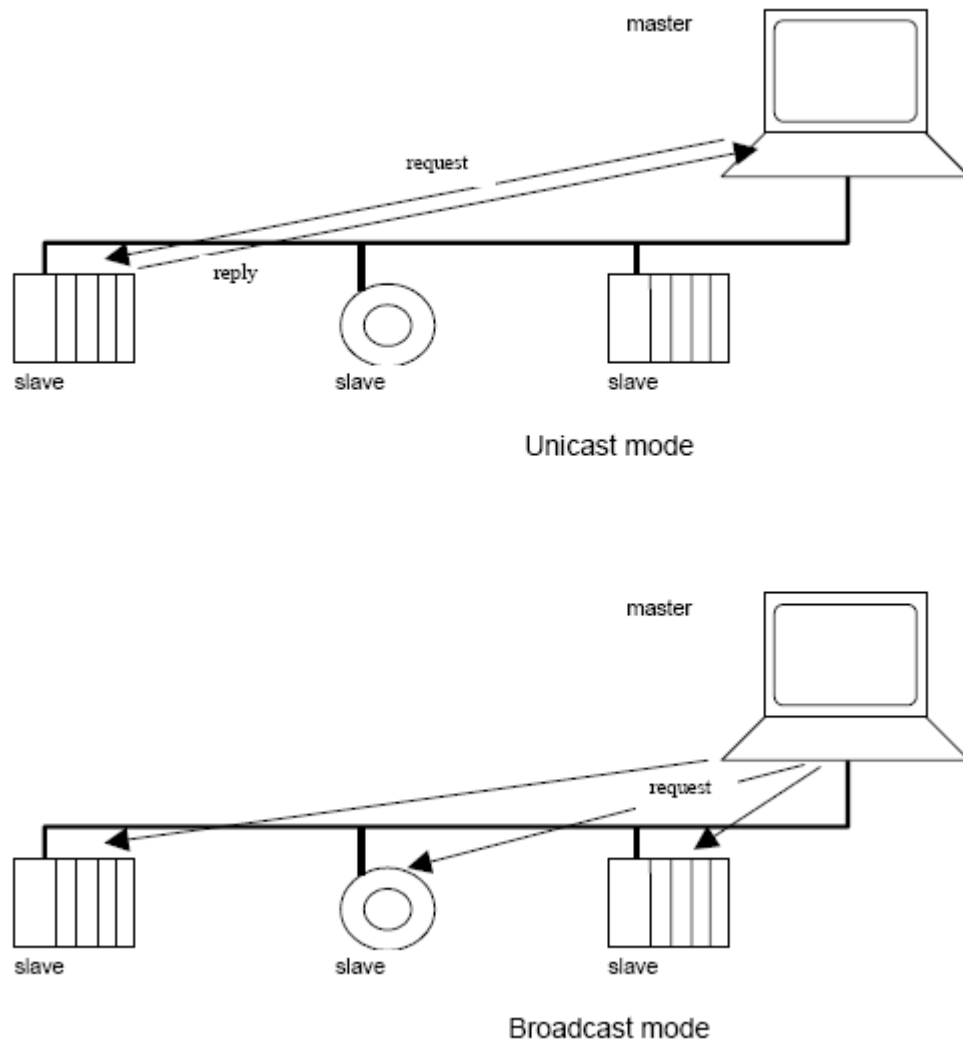


KUVIO 6 Modbus-väylän periaate (Mäkilä 2010, 18)

### 5.2 Kommunikointi

Väylään kytketyt slave-laitteet lähettävät dataa ainoastaan master-laitteen pyynnöstä, ja slave-laitteet eivät pysty kommunikoimaan keskenään. Jokainen väylään liitetty slave-laite saa yksilöllisen osoitteen, jonka avulla master-laite osaa lähettää käskyt suoraan oikealle laitteelle. Master-laite voi lähettää pyynnön ainoastaan yhdelle laitteelle unicast-tilassa (KUVIO 7), jos väylän laitteet tukevat broadcast-tilaa, niin sama pyyntö voidaan lähettää kaikille laitteille yh-

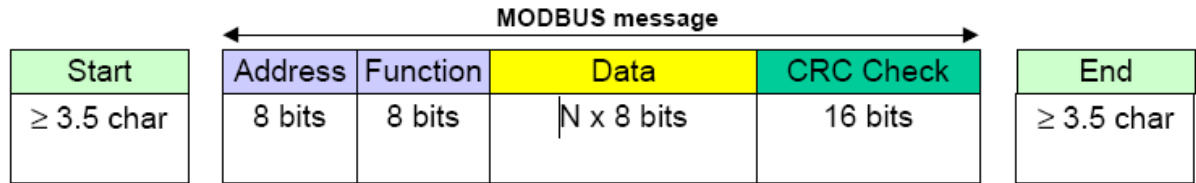
täaika (KUVIO 7). Osoite nolla on varattu määrittämään, että kyseessä on broadcast-pyyntö ja osoitteet 1 - 247 ovat slave-laitteita varten. (Mäkilä 2010, 18; Modbus\_over 2006)



KUVIO 7. Modbus-kommunikointi (Modbus\_over 2006)

### 5.3 Sanomat ja rakenne

Jokaisella Modbus versiolla on oma tiedonsiirtoprotokolla. Modbus RTU:lla viestin protokolla on seuraavanlainen (KUVIO 8).



KUVIO 8. Modbus RTU -sanomakehys (Modbus\_over 2006)

Kuvassa on esitetty Modbus RTU:n sanomakehys. Kun master-laite lähettää kyselyn slave-laitteelle, se asettaa osoitekenttään kyseisen laitteen osoitteen ja toimintokenttään halutun toimintokoodin. Toimintokentän jälkeen tulee datakenttä, johon annetaan toimintoon liittyvää tietoa. Datakentän koko voi vaihdella välillä 0 - 252 tavua. Datakentän jälkeen on kaksi tavua pitkä virheentarkastuskenttä. Modbus RTU viestin lopussa tulee CRC-tarkistus, jolla varmistetaan, että viesti on lähetetty ja vastaanotettu oikein. Jokaisen viestin välissä täytyy olla vähintään 3.5 merkin pituinen viive. (Olli 2010, 51; Modbus\_over 2006.)

Kun viesti on lähetetty, master-laite jää odottamaan vastausta. Jos vastausta ei tule määritellyn vastausajan kuluessa, master-laite siirtyy pois odotustilasta, jolloin kommunikointi muiden laitteiden kanssa on mahdollista. Slave-laitteen vastatessa se asettaa osoitteensa osoitekenttään sekä halutun tiedon datakenttään. Master-laite tarkistaa vastauksesta lähettäjän osoitteen sekä mahdolliset virheet, jos vastauksen lähettäjä oli väärä, master-laite jatkaa odotustilassa vastausajan loppuun. Jos vastaus sisältää virheen tai vastausaika on kulunut umpeen, master-laite uusii kysymyksen. Kysymysten uusinnan enimmäismäärä voidaan määrittää master-laitteen asetuksista. (Mäkilä 2010, 21; Modbus\_over 2006.)

## 5.4 Fyysinen liityntä

Modbus RTU väylä muodostetaan yleensä käyttämällä joko RS-232 tai RS-485 -liityntöjä. RS-485 liitynnästä voidaan käyttää kaksi- tai nelijohdinkytkentää. Yleisimmin teollisuudessa käytetty Modbus-väylä on Modbus RTU, joka käyttää fyysistä RS-485 liityntää kaksijohdin kytkennällä. Näitä väyliä on vakiona esimerkiksi useissa eri valmistajien taajuusmuuttajissa.

RS-485 kaksijohdinväylä pitää päättää molemmista päistä, datajohtimien väliin kytketyillä vastuksilla. (Mäkilä 2010, 21; Modbus\_over 2006.)

### **5.5 RS-485 standardi**

RS-485 ei ole protokolla vaan se määrittelee sähköiset ominaisuudet, sekä perussäännöt jonka avulla laitteet voivat kommunikoida keskenään. Se ei määrittele muita ominaisuuksia kuten signaalin laatua, käyttöjännitettä, käyttölämpötilaa, ajoituksia, protokollaa ja liitimiä. Laitteiden välinen etäisyys RS-485 piirissä voi olla jopa 1200 m. Suurin ero RS-232 ja RS-485 -väylässä on se, että RS-485 väylässä on kaapelin johdot kiedottu toistensa ympärille, kun taas RS-232 väylässä johdot ovat suorassa. Tämän parikierron tarkoituksena on estää magneettikentistä aiheutuvat häiriöt. (Lammert 2010.)

## 6 TYÖN TAVOITTEET

Tämän työn päätavoitteena on suunnitella ja toteuttaa nykyaikaisen pihattonavetan ilmanvaihdon ohjaus siten, että tuotantorakennuksen sisäilmalle asetetut laatuvaatimukset täyttyvät. Kun ilmanvaihto toimii oikein niin eläimet voivat hyvin, ja niiden aineenvaihdunta toimii oikein, sekä eläintenhoitajien työskentelyolosuhteet ovat tarkoituksenmukaiset. Tarkoituksena on toteuttaa varmatoiminen ja käyttäjäystävällinen järjestelmä kustannustehokkaasti. Erityistä huomiota kiinnitetään helppoon käytettävyyteen ja varaosien sekä huollon saatavuuteen.

Tarkoituksena on onnistua valitsemaan ohjauksen toimivuuden kannalta sopivat komponentit ja sovittaa ne yhdeksi toimivaksi laitteeksi. Työn tavoitteena on tukea ilmanvaihtolaitteiston kehitystyötä. Lähdeaineiston tutkimisella sekä protolaitteen testauksella saadun tiedon perusteella pyritään ratkaisemaan ilmanvaihdon toimivuutta rajoittavat tekijät.

## **7 OHJAUSJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

Päättötyöni aiheena olevan ilmanvaihtolaitteiston toimintaperiaate oli suunniteltu jo valmiiksi Demeca Oy:n toimesta. Tässä työssä tehtäviini kuului antureiden ja toimilaitteiden valinta, sekä sähkösuunnitelmien tekeminen. Toteutuksessa ja toimilaitteiden sekä antureiden valinnassa kiinnitetään huomiota kestävyYTEEN ja hinta-laatu suhteeseen.

### **7.1 Anturivalinnat**

Ilmanvaihtolaitteessa tarvittavien antureiden vaatimukset kotelointiluokkaa lukuun ottamatta ovat vaatimattomia. Liikenopeudet ovat todella pieniä ja antureilta vaadittava vasteaika ei rajoita valintoja. Antureiden tulisi olla tiiviitä ajoittain esiintyvän kosteuden, pölyn ja korroosiovaaran takia.

Lämpötila-anturiksi valittiin Pt100 mitta-anturilla varustettu ulkolämpötilalähetin. Anturi valittiin, koska se on helposti liitettävissä ohjausjärjestelmään valmiin analogialähdön 4-20 mA avulla, ja sen mittausalue on riittävän laaja. Anturi soveltuu myös navettaolosuhteisiin hyvän koteloinnin ansiosta.

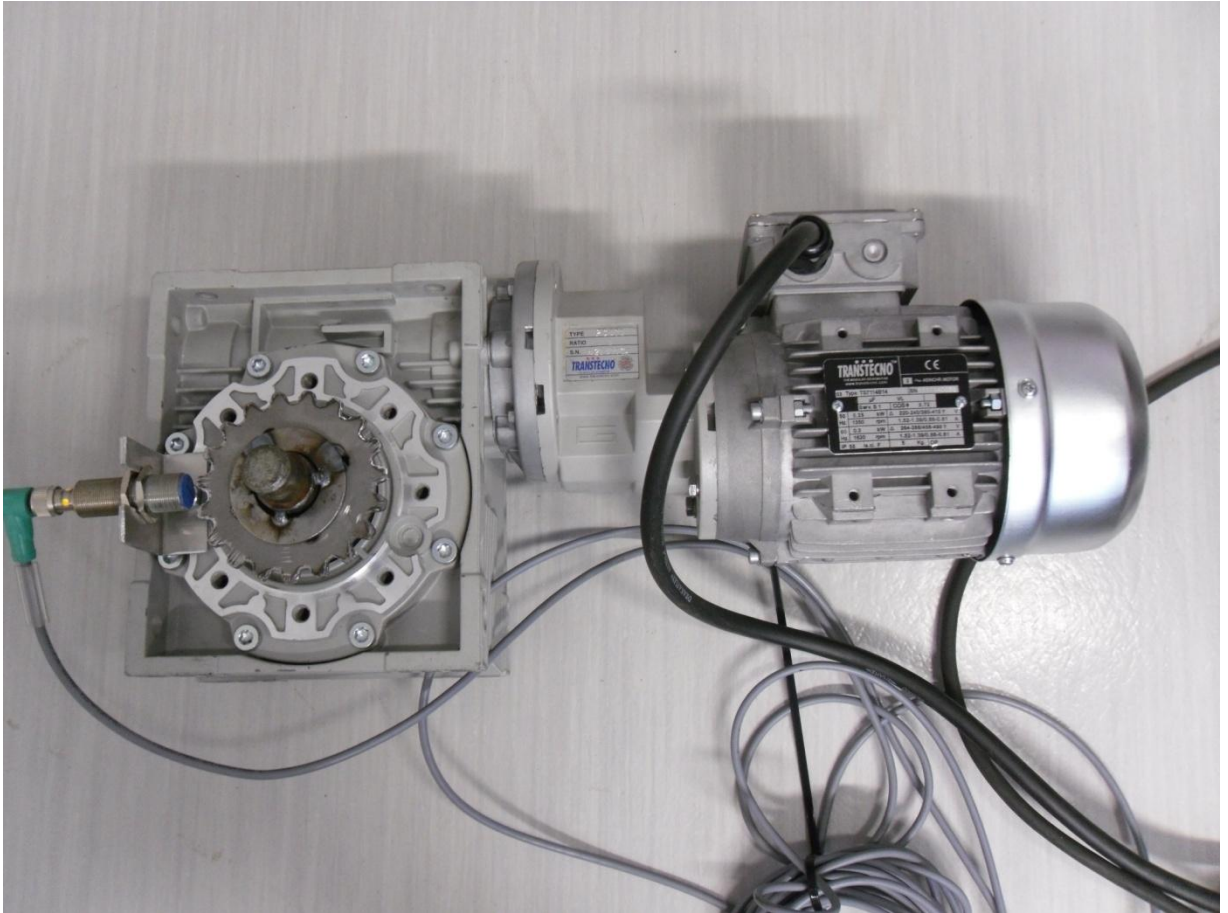
Ilmanvaihtoluukkujen asentotiedon hankkimisessa käytetään induktiivisia kytkimiä. Nämä soveltuvat kotelointiluokituksen ja kestävyytensä puolesta hyvin laitteeseen. Lisäksi näitä antureita on saatava useilta eri valmistajilta suhteellisen edulliseen hintaan.

### **7.2 Ohjauslaitevalinnat**

Yksittäisen luukkukäytön pääkomponenttina käytetään Vacon 10 sarjan taajuusmuuttajaa. Tarvittavat anturit kaapeloidaan taajuusmuuttajalle, ja taajuusmuuttaja ohjaa luukkukäytön moottoria ohjelmansa perusteella.



Toimilaitteena luukkujen säädössä käytetään alennusvaihteella varustettua oikosulkumoottoria (KUVIO 9). Mekaniikkasuunnittelijan toimesta määritetään kullekin luukkukäytölle tarvittava vääntömomentti. Tämä määrää käytettävän moottorikoon ja vaihteen välityksen. Perustapauksissa käytetään 250 W moottoria 1:300 välityksellä, jolloin saavutettava vääntömomentti on noin 250 Nm.



KUVIO 9. Ilmanvaihdon luukkukäytön vaihdemoottori

### 7.3 Luukkukohtainen ohjaus

Ilmanvaihtoluukun ohjauslaite koostuu taajuusmuuttajasta, moottorista ja antureista. Taajuusmuuttajaan tehdään ilmanvaihdon ohjaukseen soveltuva erikoisohjelmisto, jonka avulla käyttäjä voi valita haluamansa luukkujen ohjaustavan ja säätää ilmamäärät sopivaksi eläinmäärästä ja navetasta riippuen. Taajuusmuuttaja koteloidaan ja sijoitetaan siten, että se on suojaisessa

paikassa, mutta säätöjä tulee päästä myös tekemään. Tarvittavat anturit kaapeloidaan tähän koteloon ja sähkönsyöttö järjestetään pistotulppaliitännällä tai turvakytkimen välityksellä.

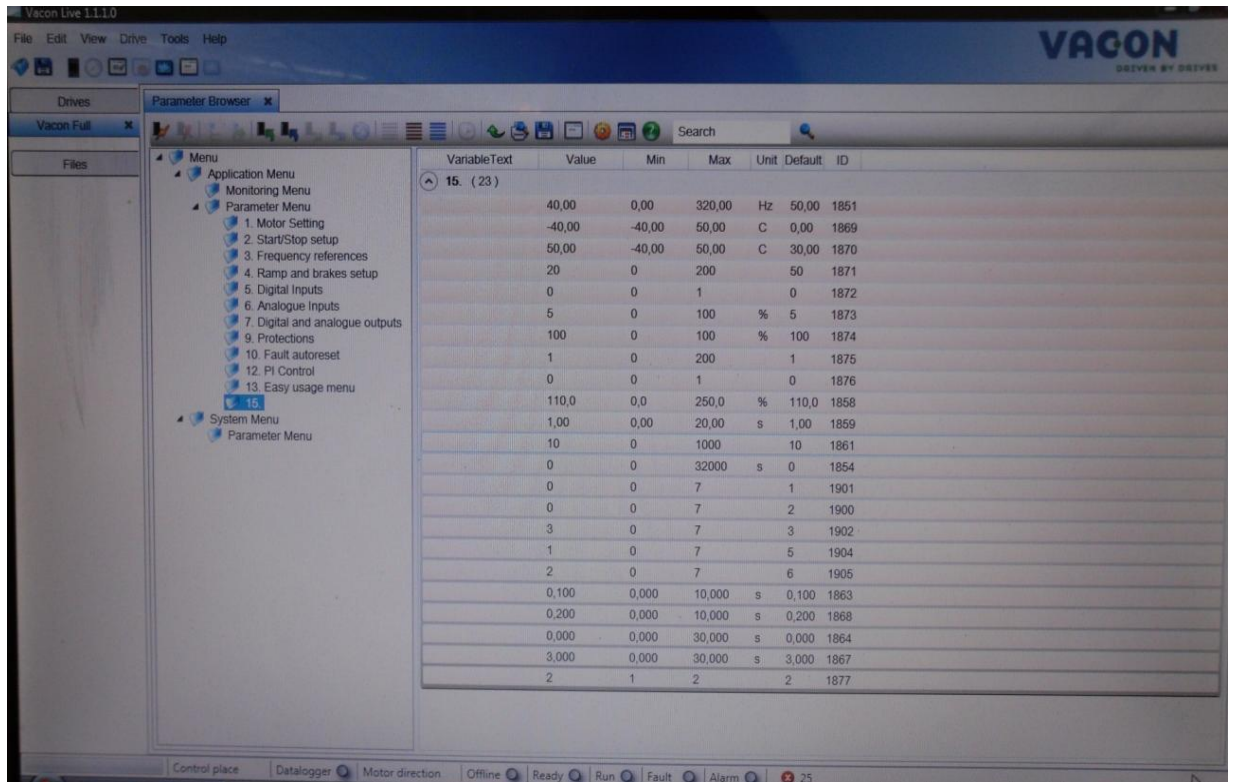
#### **7.4 Keskitetty ohjaus**

Jos ilmanvaihdon ohjaus liitetään Demeca Control -ohjausjärjestelmään, yksittäisen luukkukäytön ohjaukseen lisätään vain väyläkaapelointi. Väylänä käytetään Modbus RTU -väylää, jonka liitäntämahdollisuus löytyy käytettävästä taajuusmuuttajasta. Tällöin ei tarvita välttämättä luukkukohtaista lämpötilan mittausta, vaan mittaus voidaan hoitaa väylään liitetyllä anturilla. Tällöin ilmanvaihdon säätö onnistuu keskitetysti yhdestä paikasta. Tässäkin järjestelmässä ilmamäärät voidaan määrittää erisuuruisiksi navetan eri osissa.

Demeca Control -ohjausjärjestelmän pääkomponenttina on kosketusnäytöllinen teollisuustietokone, joka on koteloitu ympäristön vaatimalla tavalla. Tässä käytetään Beckhoffin tuotteisiin kuuluvaa CP62XX sarjan teollisuustietokoneetta, jonka ominaisuuksista Demeca yhtiöllä on aiempaa kokemusta. Tämän järjestelmän avulla voidaan ohjata kaikkia Demecan navetoihin tarkoitettuja tuotteita, kuten lannanpoistoa, kuivitusta ja ilmanvaihtoa.

#### **7.5 Ohjelma**

Tässä työssä minun ei tarvinnut perehtyä laitteiston ohjelmoinnin kiemuroihin. Luukkukohtaisen ohjauksen aivoina toimiva Vacon10 -sarjan taajuusmuuttajaan ohjelman laati Demecan palveluksessa oleva Lauri Penninkangas. Tehtäväkseni ohjelman osalta jäi tarvittavien parametrien syöttäminen taajuusmuuttajaan (KUVIO 10).



KUVIO 10. Parametrien syöttämistä taajuusmuuttajalle

Ilmanvaihtoryhmä muodostetaan yleensä harjaluukuista ja seinäluukusta. Jokaista muodostettua ryhmää voidaan ohjata usealla eri tavalla, mikä sitten kullekin ryhmälle parhaiten sopii. Ohjaustavat voivat perustua käyttäjän antamiin ohjeisiin, ajanjaksoihin tai mitattaviin suureisiin, joita voivat olla sisä- ja ulkolämpötila sekä ilmankosteus. Erilaiset ohjaustavat ja ryhmitelytarpeet määritellään aina yhteistyössä asiakkaan ja Demecan kanssa.

Yleisimmässä säätötavassa ilmanvaihtoluukkujen asentoa ohjataan ohjelmaan määritellyn säätökäyrän mukaisesti. Esimerkiksi ulkolämpötilaan perustuvassa säädössä käyrästä kerrotaan pisteillä, että esimerkiksi +20 asteen lämpötilassa luukun asennon ohjearvo on 100 % ja 0 asteessa 5 %. Tämä säätökäyrään perustuva ohjaus on yleisin käytettävä ohjaustapa.

## 7.6 Mekaaninen toteutus

Järjestelmän seinäluukut ovat UV-suojattuja kirkkaita polykarbonaattilevyjä, jotka on kehystetty alumiiniprofiileilla. Luukkuja käytetään hammastankomekanismilla. Seinäluukkuja toimitetaan myös ulkopuolelle asennettavina pystysuuntaan liikkuvina kennoikkunoina. Ohjausjärjestelmä on molemmissa ratkaisuissa samantyyppinen.

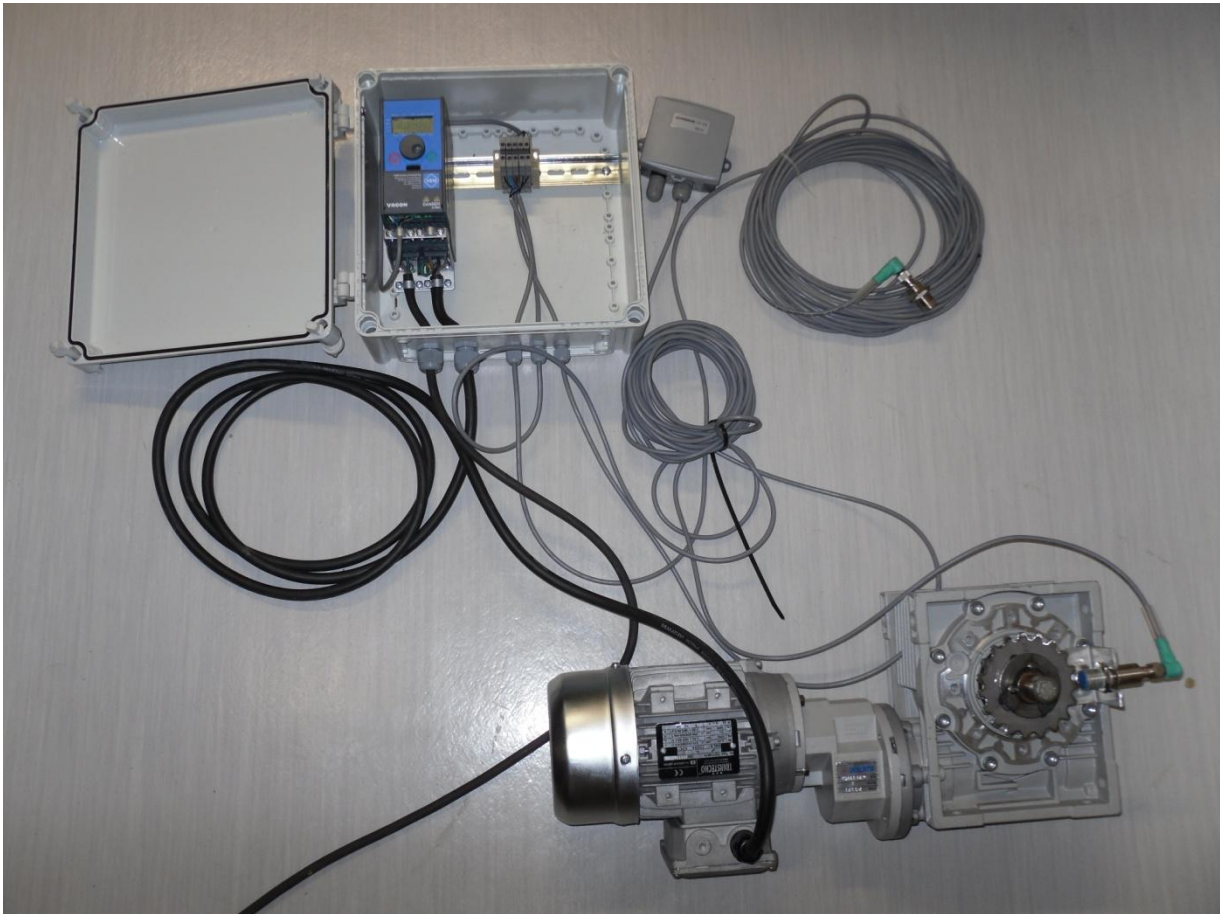
Demeca harjailmanvaihto rakentuu kiinteästä valoharjasta sekä poistoilmaluukuista. Harja ja luukut ovat kirkasta UV-suojattua polykarbonaattilevyä. Kantavat rakenteet on tehty kuumasinkitystä teräksestä ja kiinnityslistoitukset alumiinista.

## 8 TESTAUS JA JATKOKEHITYS

### 8.1 Testilaite

Ilmanvaihdon ohjauksen toimivuutta oli tarkoitus testata rakentamalla yksi ohjainlaite (KUVIO 11) testikäyttöön. Testauksen tarkoituksena oli varmentaa laitteen toimintaa ja havaita mahdolliset puutteet ja viat, jotka tulisi korjata seuraavaan laiteversioon.

Testauksessa tarvittava laitteisto koostuu ohjainyksiköstä, vaihdemoottorista ja antureista. Tällaisella laitteistolla pystytään riittävän tarkasti mallintamaan ilmanvaihdon todellista toimintaympäristöä.



KUVIO 11. Ilmanvaihdon ohjausjärjestelmän testilaite.

## 8.2 Testausmenetelmät

Laitteen toimivuus pyritään toteamaan näköhavaintojen perusteella. Ilman lämpötilan muutoksia simuloidaan lämpöpuhaltimella ja esimerkiksi lumella viilentämällä. Ilman lämpötilan viilentyessä ilmanvaihtoluukkujen pitää mennä pienemmälle, ja lämpötilan noustessa luukun tulee avautua. Tämä voidaan todeta seuraamalla vaihteen akselilla olevan hammasrattaan liikkettä.

## 8.3 Testaustulokset

Näköhavaintoihin perustuvien testien osalta laitteiston todettiin toimivan suunnitellulla tavalla. Toimintojen suoritusajkoja ei nähty tarpeelliseksi mitata, koska toimintaympäristö ei aseta toimintojen nopeudelle oikeastaan mitään vaatimuksia. Sähkökatkon tapahduttua ohjainyksikkö aloittaa paikoitusajon luukulle, eli käyttää luukun kiinniasennossa kotirajalla, ja avaa sen ohjelman asettamaan arvoon.

Kaikki ohjelman ominaisuudet eivät vielä tässä ensimmäisessä ohjelmaversiossa toimineet halutulla tavalla. Esimerkiksi säätöherkkyys oli liian herkällä. Tavoiteltava ominaisuus tällaisessa käyttöympäristössä voisi olla, että luukun asentoa muutetaan kun lämpötila muuttuu yhden asteen. Tässä ensimmäisessä ohjelmaversiossa säätö tapahtui heti kun anturi havaitsi muutosta lämpötilassa. Kaikki havaitut ongelmat on kuitenkin korjattavissa ohjelmaan tehtävillä pienillä muutoksilla.

Emme päässeet tämän opinnäytetyön toteuttamisaikataulun puitteissa asentamaan ilmanvaihtojärjestelmää oikeaan navettarakennukseen. Ei kuitenkaan ole nähtävissä mitään esteitä ilmanvaihdon moitteettoman toiminnan suhteen todellisessa toimintaympäristössäkään.

## 8.4 Jatkokehitys

Ohjauskeskukseen olisi mahdollista lisätä painikekytkin, josta ilmanvaihtoluukun ohjaustavaksi voisi valita käsi- tai automaattiajon. Käsiäjolle tulisi asentaa myös painonapit, joista luukun asentoa voidaan hallita. Painikekytkimiin olisi mahdollista asentaa merkkivalot ilmoittamaan ohjelman automaatinasennosta ja mahdollisista vikatiloista eri koodauksilla. Pakkasjaksojen aikana ohjelmassa voisi olla mahdollisuus luukun liikuttamiseen edestakaisin, jolla ehkäistään luukun jäätymistä.

## 9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella pihattonavetan ilmanvaihdon ohjausjärjestelmä. Kuten monien muiden tuotteiden, niin myös ilmanvaihtolaitteiston suunnittelun suurimpia haasteita olivat asiakaskunnan taloudelliset resurssit. Laitteisto piti rakentaa mahdollisimman kustannustehokkaasti, mutta olla teknisesti kilpailukykyinen ja mielellään hieman kilpailijoiden vastaavia tuotteita edellä.

Eläintilojen ilmanvaihdon rakentamismääräykset ja ohjeet antoivat hyvän pohjan suunnittelutyölle. Kirjallisuudesta sekä VTT:n raporteista löytyvä tieto antoi hyvän pohjan tämän opinnäytetyön kirjoittamiseen. Kokonaisuutena tämä projekti on antanut tekijälleen melko paljon uutta näkemystä.

Kokonaisuutena tämä opinnäytetyö onnistui hyvin ja toimiva laitteisto saatiin valmiiksi. Jatko-toimenpiteinä tähän opinnäytetyöhön voisi tutkia tuulen suunnan huomioimista, ja sen vaatimaa anturointia. Lisäksi tällaisten laitteiden sähköjen käyttöönottomittausten vaatimuksiin olisi hyvä perehtyä tarkemmin.



## LÄHTEET

Danfoss Drives A/S. 2000. Tietämisen arvoista asiaa taajuudenmuuttajista. Laursen Grafisk: Danfoss.

Heimonen, I. Heikkinen, J. Kovanen, K. Laamanen, J. Ojanen, T. Piippo, J. Kivinen, T. Jauhiainen, P. Lehtinen, J. Alasuutari, S. Louhelainen, K. Mäittälä, J. 2009. Maatalouden kotieläinrakennusten toimiva ilmanvaihto. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2521.pdf>. Luettu 8.3.2012.

Kivinen, T. 2006. Tutkimuspihatoista hyvät tulokset: verhoseinä haastaa koneellisen ilmanvaihdon. Käytännön Maamies 14/2006, 56-59.

Kivinen, T. Mattila, K. Teye, F. Heikkinen, J. Heimonen, I. 2006. Lämpöeristetyin verhoseinäisen lypsykarjapihaton ilmanvaihdon toimivuus. Vihti: MTT.

Koivuviita, K.J. 1997. Ohjaustekniikka, Anturitekniikan perusteet. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka1\\_01\\_26.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka1_01_26.pdf). Luettu: 1.3.2012.

Kuiri, A. 2010. Tuloilmaluukkujen säätäminen lämpötilan mukaan CASE: Viikin opetus- ja tutkimustilan navetta. Pro gradu. Helsingin yliopisto. Maataloustieteiden laitos.

Lammert, B. 2010. RS485 Serial information. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.lammertbics.nl/comm/info/RS-485.html>. Luettu: 12.3.2012.

Maatalousyrittäjien eläkelaitos. 2010. Ilmanvaihto Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.mela.fi/Tyohyvinvointi/Tyoturvallisuus/Rakennukset/Ilmanvaihto>. Luettu: 25.2.2012.

Maa ja Metsätalousministeriö rakentamismääräykset ja ohjeet. 1.10.2002. Liite 10. C2.2 Maatalouden tuotantorakennuksen lämpöhuolto ja huoneilmasto.

Modbus\_over\_serial\_line\_V1\_02. 2006. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02](http://cars9.uchicago.edu/software/epics/Modbus_over_serial_line_V1_02). Luettu: 10.3.2012.

Mäittälä, J. 3003. Ilmanvaintoa vai ilman vaihtoa? Koetoiminta ja käytäntö 60. Numero 3, 13.

Mäkilä, T. 2010. Paloauton ohjaus ohjelmoitavalla logiikalla. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.

Olli, A. 2010. Sulautettujen järjestelmien väylätekniikat. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma.

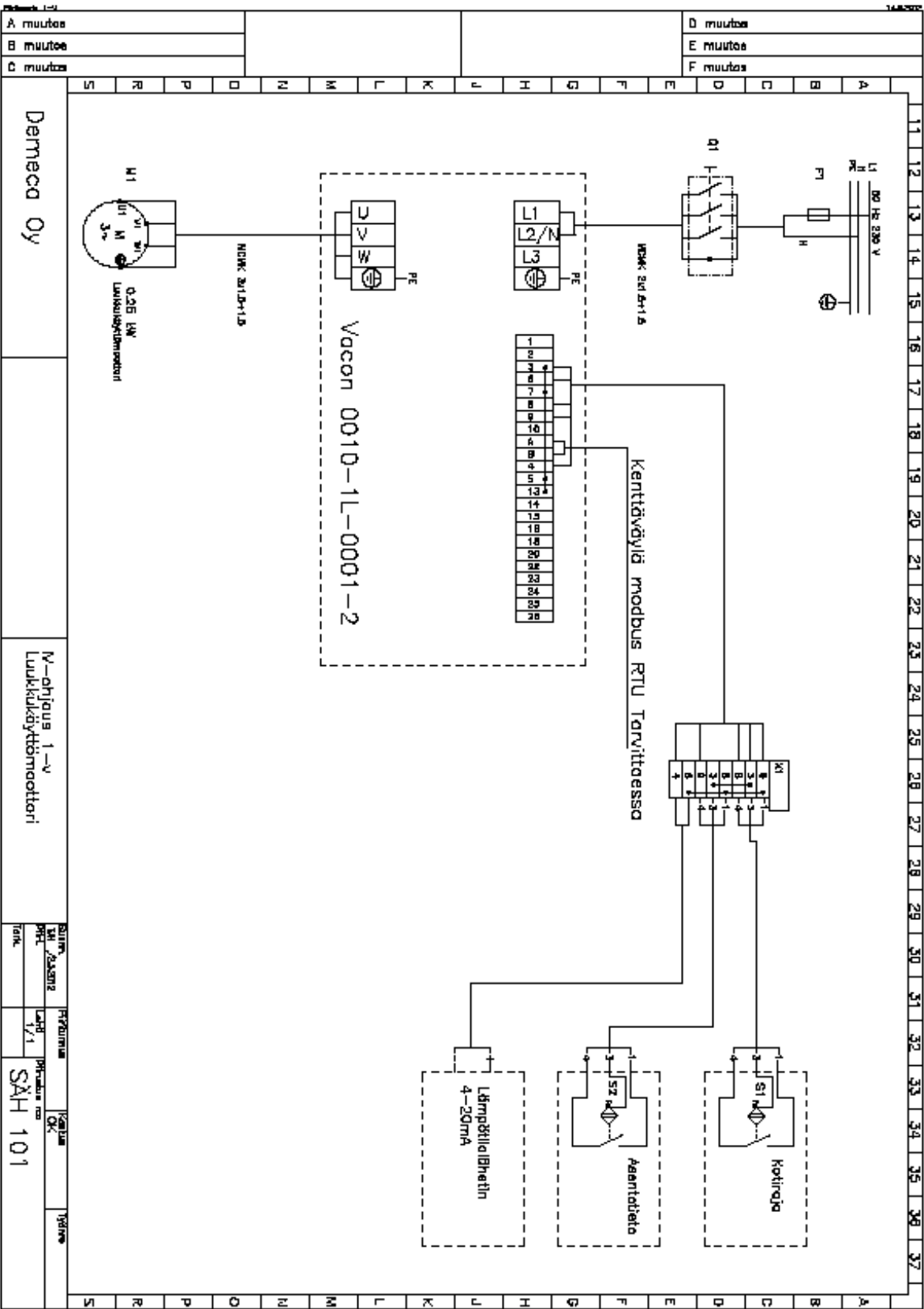
Produal. 2012. Lämpötilan mittaus. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/L%C3%A4mp%C3%B6tilan%20mittaus>. Luettu: 1.3.2012.

Saarijärvi, H. 2010. Anturitekniikan laboratoriotyöt, Lähestymiskytkimet. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.

Vacon 2012, What is a variable speed AC drive and how does it work?. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vacon.com/Default.aspx?id=464743>. Luettu: 3.4.2012.

Waaramaa, H. Salonen, J. 2006. Pullolinjasto. Päättötyö. Espoon tekniikanalan oppilaitos. Automaatio ja kunnossapito.

Weckström, T. 2002. Lämpötilan mittaus. Mittatekniikan keskus. Pdf-dokumentti. Saatavissa: [www.mikes.fi/documents/upload/MIKES\\_J1\\_2002.pdf](http://www.mikes.fi/documents/upload/MIKES_J1_2002.pdf). Luettu: 1.3.2012.



A muutos		D muutos	
B muutos		E muutos	
C muutos		F muutos	
A		D	
B		E	
C		F	
D		G	
E		H	
F		I	
G		J	
H		K	
I		L	
J		M	
K		N	
L		O	
M		P	
N		Q	
O		R	
P		S	
Q		T	
R		U	
S		V	
T		W	
U		X	
V		Y	
W		Z	
X		AA	
Y		AB	
Z		AC	
AA		AD	
AB		AE	
AC		AF	
AD		AG	
AE		AH	
AF		AI	
AG		AJ	
AH		AK	
AI		AL	
AJ		AM	
AK		AN	
AL		AO	
AM		AP	
AN		AQ	
AO		AR	
AP		AS	
AQ		AT	
AR		AU	
AS		AV	
AT		AW	
AU		AX	
AV		AY	
AW		AZ	
AX		BA	
AY		BB	
AZ		BC	
BA		BD	
BB		BE	
BC		BF	
BD		BG	
BE		BH	
BF		BI	
BG		BJ	
BH		BK	
BI		BL	
BJ		BM	
BK		BN	
BL		BO	
BM		BP	
BN		BQ	
BO		BR	
BP		BS	
BQ		BT	
BR		BU	
BS		BV	
BT		BW	
BU		BX	
BV		BY	
BW		BZ	
BX		CA	
BY		CB	
BZ		CC	
CA		CD	
CB		CE	
CC		CF	
CD		CG	
CE		CH	
CF		CI	
CG		CJ	
CH		CK	
CI		CL	
CJ		CM	
CK		CN	
CL		CO	
CM		CP	
CN		CQ	
CO		CR	
CP		CS	
CQ		CT	
CR		CU	
CS		CV	
CT		CW	
CU		CX	
CV		CY	
CW		CZ	
CX		DA	
CY		DB	
CZ		DC	
DA		DD	
DB		DE	
DC		DF	
DD		DG	
DE		DH	
DF		DI	
DG		DJ	
DH		DK	
DI		DL	
DJ		DM	
DK		DN	
DL		DO	
DM		DP	
DN		DQ	
DO		DR	
DP		DS	
DQ		DT	
DR		DU	
DS		DV	
DT		DW	
DU		DX	
DV		DY	
DW		DZ	
DX		EA	
DY		EB	
DZ		EC	
EA		ED	
EB		EE	
EC		EF	
ED		EG	
EE		EH	
EF		EI	
EG		EJ	
EH		EK	
EI		EL	
EJ		EM	
EK		EN	
EL		EO	
EM		EP	
EN		EQ	
EO		ER	
EP		ES	
EQ		ET	
ER		EU	
ES		EV	
ET		EW	
EU		EX	
EV		EY	
EW		EZ	
EX		FA	
EY		FB	
EZ		FC	
FA		FD	
FB		FE	
FC		FF	
FD		FG	
FE		FH	
FF		FI	
FG		FJ	
FH		FK	
FI		FL	
FJ		FM	
FK		FN	
FL		FO	
FM		FP	
FN		FQ	
FO		FR	
FP		FS	
FQ		FT	
FR		FU	
FS		FV	
FT		FW	
FU		FX	
FV		FY	
FW		FZ	
FX		GA	
FY		GB	
FZ		GC	
GA		GD	
GB		GE	
GC		GF	
GD		GH	
GE		GI	
GF		GJ	
GH		GK	
GI		GL	
GJ		GM	
GK		GN	
GL		GO	
GM		GP	
GN		GQ	
GO		GR	
GP		GS	
GQ		GT	
GR		GU	
GS		GV	
GT		GW	
GU		GX	
GV		GY	
GW		GZ	
GX		HA	
GY		HB	
GZ		HC	
HA		HD	
HB		HE	
HC		HF	
HD		HG	
HE		HH	
HF		HI	
HG		HJ	
HH		HK	
HI		HL	
HJ		HM	
HK		HN	
HL		HO	
HM		HP	
HN		HQ	
HO		HR	
HP		HS	
HQ		HT	
HR		HU	
HS		HV	
HT		HW	
HU		HX	
HV		HY	
HW		HZ	
HX		IA	
HY		IB	
HZ		IC	
IA		ID	
IB		IE	
IC		IF	
ID		IG	
IE		IH	
IF		II	
IG		IJ	
IH		IK	
II		IL	
IJ		IM	
IK		IN	
IL		IO	
IM		IP	
IN		IQ	
IO		IR	
IP		IS	
IQ		IT	
IR		IU	
IS		IV	
IT		IW	
IU		IX	
IV		IY	
IW		IZ	
IX		JA	
IY		JB	
IZ		JC	
JA		JD	
JB		JE	
JC		JF	
JD		JG	
JE		JH	
JF		JI	
JG		JJ	
JH		JK	
JI		JL	
JJ		JM	
JK		JN	
JL		JO	
JM		JP	
JN		JQ	
JO		JR	
JP		JS	
JQ		JT	
JR		JU	
JS		JV	
JT		JW	
JU		JX	
JV		JY	
JW		JZ	
JX		KA	
JY		KB	
JZ		KC	
KA		KD	
KB		KE	
KC		KF	
KD		KH	
KE		KI	
KF		KJ	
KH		KK	
KI		KL	
KJ		KM	
KK		KN	
KL		KO	
KM		KP	
KN		KQ	
KO		KR	
KP		KS	
KQ		KT	
KR		KU	
KS		KV	
KT		KW	
KU		KX	
KV		KY	
KW		KZ	
KX		LA	
KY		LB	
KZ		LC	
LA		LD	
LB		LE	
LC		LF	
LD		LG	
LE		LH	
LF		LI	
LG		LJ	
LH		LK	
LI		LL	
LJ		LM	
LK		LN	
LL		LO	
LM		LP	
LN		LQ	
LO		LR	
LP		LS	
LQ		LT	
LR		LU	
LS		LV	
LT		LW	
LU		LX	
LV		LY	
LW		LZ	
LX		MA	
LY		MB	
LZ		MC	
MA		MD	
MB		ME	
MC		MF	
MD		MG	
ME		MH	
MF		MI	
MG		MJ	
MH		MK	
MI		ML	
MJ		MM	
MK		MN	
ML		MO	
MM		MP	
MN		MQ	
MO		MR	
MP		MS	
MQ		MT	
MR		MU	
MS		MV	
MT		MW	
MU		MX	
MV		MY	
MW		MZ	
MX		NA	
MY		NB	
MZ		NC	
NA		ND	
NB		NE	
NC		NF	
ND		NG	
NE		NH	
NF		NI	
NG		NJ	
NH		NK	
NI		NL	
NJ		NM	
NK		NN	
NL		NO	
NM		NP	
NN		NQ	
NO		NR	
NP		NS	
NQ		NT	
NR		NU	
NS		NV	
NT		NW	
NU		NX	
NV		NY	
NW		NZ	
NX		OA	
NY		OB	
NZ		OC	
OA		OD	
OB		OE	
OC		OF	
OD		OG	
OE		OH	
OF		OI	
OG		OJ	
OH		OK	
OI		OL	
OJ		OM	
OK		ON	
OL		OO	
OM		OP	
ON		OQ	
OO		OR	
OP		OS	
OQ		OT	
OR		OU	
OS		OV	
OT		OW	
OU		OX	
OV		OY	
OW		OZ	
OX		PA	
OY		PB	
OZ		PC	
PA		PD	
PB		PE	
PC		PF	
PD		PG	
PE		PH	
PF		PI	
PG		PJ	
PH		PK	
PI		PL	
PJ		PM	
PK		PN	
PL		PO	
PM		PP	
PN		PQ	
PO		PR	
PP		PS	
PQ		PT	
PR		PU	
PS		PV	
PT		PW	
PU		PX	
PV		PY	
PW		PZ	
PX		QA	
PY		QB	
PZ		QC	
QA		QD	
QB		QE	
QC		QF	
QD		QG	
QE		QH	
QF		QI	
QG		QJ	
QH		QK	
QI		QL	
QJ		QM	
QK		QN	
QL		QO	
QM		QP	
QN		QQ	
QO		QR	
QP		QS	
QQ		QT	
QR		QU	
QS		QV	
QT		QW	
QU		QX	
QV		QY	
QW		QZ	
QX		RA	
QY		RB	
QZ		RC	
RA		RD	
RB		RE	
RC		RF	
RD		RG	
RE		RH	
RF		RI	
RG		RJ	
RH		RK	
RI		RL	
RJ		RM	
RK		RN	
RL		RO	
RM		RP	
RN		RQ	
RO		RR	
RP		RS	
RQ		RT	
RR		RU	
RS		RV	
RT		RW	
RU		RX	
RV		RY	
RW		RZ	
RX		SA	
RY		SB	
RZ		SC	
SA		SD	
SB		SE	
SC		SF	
SD		SG	
SE		SH	
SF		SI	
SG		SJ	
SH		SK	
SI		SL	
SJ		SM	
SK		SN	
SL		SO	
SM		SP	
SN		SQ	
SO		SR	
SP		SS	
SQ		ST	
SR		SU	
SS		SV	
ST		SW	
SU		SX	
SV		SY	
SW		SZ	
SX		TA	
SY		TB	
SZ		TC	
TA		TD	
TB		TE	
TC		TF	
TD		TG	
TE		TH	
TF		TI	
TG		TJ	
TH		TK	
TI		TL	
TJ		TM	
TK		TN	
TL		TO	
TM		TP	
TN		TQ	
TO		TR	
TP		TS	
TQ		TT	
TR		TU	
TS		TV	
TT		TW	
TU		TX	
TV		TY	
TW		TZ	
TX		UA	
TY		UB	
TZ		UC	
UA		UD	
UB		UE	
UC		UF	
UD		UG	
UE		UH	
UF		UI	
UG		UJ	
UH		UK	
UI		UL	
UJ			